(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 545 363 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
23.10.2024 Bulletin 2024/43

(21) Numéro de dépôt: **17745178.8**

(22) Date de dépôt: **27.07.2017**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04B 15/08 *(2006.01)* ***G04B 17/04*** *(2006.01)*
G04B 31/00 *(2006.01)* ***G04B 15/14*** *(2006.01)*
G04B 17/28 *(2006.01)* ***G04B 18/02*** *(2006.01)*
G04B 17/26 *(2006.01)*

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04B 15/08; G04B 15/14; G04B 17/045; G04B 17/28; G04B 18/02; G04B 31/00;
G04B 17/26

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2017/069038

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2018/095593 (31.05.2018 Gazette 2018/22)

(54) **RÉSONATEUR ROTATIF À GUIDAGE FLEXIBLE ENTRETENU PAR UN ÉCHAPPEMENT LIBRE À ANCRE**

SICH DREHENDER RESONATOR MIT EINER FLEXIBLEN FÜHRUNG, DER VON EINER FREIEN ANKERHEMMUNG GEHALTEN WIRD

FLEXIBLY GUIDED ROTARY RESONATOR MAINTAINED BY A FREE ESCAPEMENT WITH PALLET

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **23.11.2016 EP 16200152**

(43) Date de publication de la demande:
02.10.2019 Bulletin 2019/40

(73) Titulaire: **ETA SA Manufacture Horlogère Suisse**
2540 Grenchen (CH)

(72) Inventeurs:
- **WINKLER, Pascal**
  2072 St-Blaise (CH)
- **HELFER, Jean-Luc**
  2525 Le Landeron (CH)
- **DI DOMENICO, Gianni**
  2000 Neuchâtel (CH)

(74) Mandataire: **ICB SA**
Faubourg de l'Hôpital, 3
2001 Neuchâtel (CH)

(56) Documents cités:
EP-A1- 2 990 885
EP-A1- 3 021 174
EP-A1- 3 032 352
EP-A2- 2 230 570
EP-A2- 2 894 520
WO-A2-2015/097066
CH-A2- 703 464
CH-A2- 709 291
CH-A2- 710 025

- **"Théorie de l'horlogerie", 1 October 1998, LAUSANNE, article CHARLES-ANDRE REYMONDIN: "Théorie de l'horlogerie", pages: 104, XP055465889**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 3 545 363 B1

Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention concerne un mécanisme régulateur d'horlogerie, comportant, agencés sur une platine, un mécanisme résonateur d'un facteur de qualité Q, et un mécanisme d'échappement agencé pour être soumis à un couple de moyens moteurs que comporte un mouvement, ledit mécanisme résonateur comportant un élément inertiel agencé pour osciller par rapport à ladite platine, ledit élément inertiel étant soumis à l'action de moyens de rappel élastique fixés directement ou indirectement à ladite platine, et ledit élément inertiel étant agencé pour coopérer avec un mobile d'échappement que comporte ledit mécanisme d'échappement.

[0002] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant des moyens moteurs, et un tel mécanisme régulateur, dont le mécanisme d'échappement est soumis au couple de ces moyens moteurs.

[0003] L'invention concerne encore une montre, plus particulièrement une montre mécanique, comportant un tel mouvement, et/ou un tel mécanisme régulateur.

[0004] L'invention concerne le domaine des mécanismes de régulation d'horlogerie, en particulier pour des montres.

Arrière-plan de l'invention

[0005] La plupart des montres mécaniques comportent un oscillateur de type balancier-spiral, coopérant avec un échappement à ancre suisse. Le balancier-spiral constitue la base de temps de la montre. On l'appelle ici résonateur. L'échappement, quant à lui, remplit deux fonctions principales, à savoir entretenir les va-et-vient du résonateur, et compter ces va-et-vient. Cet échappement doit être robuste, ne pas perturber le balancier loin de son point d'équilibre, résister aux chocs, éviter de coincer le mouvement (par exemple lors d'un renversement), et constitue donc un composant névralgique du mouvement d'horlogerie.

[0006] Typiquement, un balancier-spiral oscille avec une amplitude de 300°, et l'angle de levée est de 50°. L'angle de levée est l'angle du balancier sur lequel la fourchette de l'ancre interagit avec la cheville, dite aussi ellipse, du balancier. Dans la plupart des échappements à ancre suisse actuels, l'angle de levée se répartit de part et d'autre du point d'équilibre du balancier (+/- 25°), et l'ancre bascule de +/- 7°.

[0007] L'échappement à ancre suisse fait partie de la catégorie des échappements libres, car, au-delà du demi-angle de levée, le résonateur ne touche plus l'ancre. Cette caractéristique est essentielle pour obtenir de bonnes propriétés chronométriques.

[0008] Un résonateur mécanique comporte un élément inertiel, un guidage et un élément de rappel élastique. Traditionnellement, le balancier constitue l'élément inertiel, et le spiral constitue l'élément de rappel élastique. Le balancier est guidé en rotation par des pivots, qui tournent dans des paliers lisses en rubis. Les frottements associés sont à l'origine de pertes d'énergie et de perturbations de marche. On cherche à supprimer ces perturbations, qui, de plus, dépendent de l'orientation de la montre dans le champ de gravité. Les pertes sont caractérisées par le facteur de qualité Q du résonateur. On cherche généralement à maximiser ce facteur de qualité Q, de façon notamment à obtenir la meilleure réserve de marche possible. On comprend que le guidage constitue un facteur essentiel de pertes.

[0009] L'utilisation d'un guidage flexible rotatif, en lieu et place des pivots et du spiral traditionnel, est une solution qui permet de maximiser le facteur de qualité Q. Les résonateurs à lames flexibles, pour autant qu'ils soient bien conçus, ont des propriétés chronométriques prometteuses, indépendamment de l'orientation dans la gravité, et ont de hauts facteurs de qualité, notamment grâce à l'absence de frottements de pivotement. En outre l'usage de guidages flexibles permet d'éliminer les problèmes d'usure des pivots.

[0010] Toutefois, les lames flexibles généralement utilisées dans de tels guidages flexibles rotatifs sont plus rigides que des spiraux. Ceci conduit à travailler à plus haute fréquence, par exemple de l'ordre de 20 Hz, et à plus faible amplitude, par exemple de 10° à 20°. Cela semble de prime abord peu compatible avec un échappement de type à ancre suisse.

[0011] Une amplitude de fonctionnement compatible avec un résonateur à guidage flexible rotatif, notamment à lames, est typiquement de 6° à 15°. Il en résulte une certaine valeur d'angle de levée, lequel doit être le double de l'amplitude minimale de fonctionnement.

[0012] En l'absence de précautions particulières, un échappement à faible angle de levée peut avoir un rendement médiocre, et provoquer un retard trop important. Toutefois, le cumul d'une haute fréquence et d'une faible amplitude autorise des vitesses de passage du balancier qui sont acceptables, sans être trop élevées, et donc le rendement de l'échappement n'est pas automatiquement médiocre.

[0013] Le résonateur doit avoir un encombrement acceptable, compatible avec son logement dans un mouvement d'horlogerie, il n'est pas possible à ce jour de réaliser un guidage flexible rotatif de très grand diamètre, ni à plusieurs paires de niveaux de lames, qui permettraient en théorie, par la mise en série de guidages flexibles successifs, d'obtenir une amplitude d'oscillation de l'élément inertiel de plusieurs dizaines de degrés: il convient donc d'utiliser un guidage flexible à un ou deux niveaux de lames au plus, par exemple tel que connu du document EP3035126 au nom de THE SWATCH GROUP RESEARCH & DEVELOPMENT Ltd. On connaît aussi par exemple les résonateurs des documents EP2894520A2 au nom de NIVAROX SA, EP3032352A1 au nom de LVMH SWISS MANUFACTURES SA et EP2990885A1 au nom de ETA SA.

[0014] En somme, l'effet du choix d'un guidage flexible

rotatif est que l'amplitude du balancier est réduite, et que l'on ne peut plus utiliser un échappement à ancre suisse traditionnel, lequel nécessite une amplitude du balancier nettement supérieure au demi-angle de levée, c'est-à-dire supérieure à 25°. Un régulateur comportant un résonateur à guidage flexible nécessite donc un mécanisme d'échappement particulier, avec un dimensionnement différent de ce que serait un échappement à ancre suisse usuel conçu pour fonctionner avec le même élément inertiel du résonateur.

Résumé de l'invention

[0015] La présente invention a pour objectif global d'augmenter la réserve de marche et la précision des montres mécaniques actuelles. Pour atteindre cet objectif, l'invention combine un résonateur à guidage flexible rotatif avec un échappement à ancre optimisé pour conserver des pertes dynamiques acceptables et limiter l'effet chronométrique du dégagement.

[0016] Faute d'enseignement dans l'art antérieur pour le dimensionnement, tant du résonateur que du mécanisme d'échappement, des calculs d'un modèle analytique et une campagne de simulations ont permis de mettre en évidence des paramètres du résonateur et de l'échappement, qui sont compatibles avec un rendement et un retard acceptables.

[0017] Ces calculs et ces simulations démontrent que le rapport entre l'inertie de l'élément inertiel, notamment un balancier, et l'inertie de l'ancre, est déterminant.

[0018] A cet effet, l'invention concerne un mécanisme régulateur selon la revendication 1.

[0019] De tels résonateurs à guidage flexible rotatif ont de très hauts facteurs de qualité, par exemple de l'ordre de 3000, à comparer avec un facteur de qualité de 200 pour une montre usuelle. Or les pertes dynamiques (énergie cinétique du mobile d'échappement et de l'ancre en fin d'impulsion) sont indépendantes du facteur de qualité. Ces pertes peuvent donc devenir trop importantes, à haut facteur de qualité, en niveau relatif par rapport à l'énergie transmise au balancier.

[0020] Pour un fonctionnement correct du mécanisme, une cheville de plateau solidaire de l'élément inertiel, doit pénétrer d'une certaine valeur, appelée pénétration, dans l'ouverture de la fourchette d'ancre. De façon similaire, pour assurer les sécurités au dégagement, cette cheville de plateau doit pouvoir ensuite, après dégagement de la cheville, être maintenue à une certaine distance, appelée sécurité, de la corne de la fourchette opposée à celle sur laquelle elle était en contact immédiatement avant son dégagement.

[0021] Aussi, l'invention s'attache encore à imposer une relation particulière entre les dimensions de la fourchette d'ancre, les valeurs de pénétration et de sécurité, et les valeurs des angles de levée de l'ancre et de l'élément inertiel, pour assurer que la cheville s'escamote correctement de la fourchette, une fois le demi-angle de levée parcouru.

[0022] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant des moyens moteurs, et un tel mécanisme régulateur, dont le mécanisme d'échappement est soumis au couple de ces moyens moteurs.

[0023] L'invention concerne encore une montre, plus particulièrement une montre mécanique, comportant un tel mouvement, et/ou un tel mécanisme régulateur.

Description sommaire des dessins

[0024] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où :

- la figure 1 comporte un double graphique comportant sur la même abscisse le rapport entre l'inertie de l'élément inertiel du résonateur et l'inertie de l'ancre, et qui, en ordonnée montre, pour un exemple particulier de mécanisme, d'une part au niveau du graphique supérieur en partie positive l'allure du rendement du régulateur en %, et au niveau du graphique inférieur en partie négative l'allure du retard en secondes par jour; ces graphiques supérieur et inférieur sont établis pour une même géométrie d'échappement donnée, avec des valeurs particulières de facteur de qualité, d'angle de levée d'ancre, et d'amplitude de fonctionnement;
- la figure 2 représente, de façon schématisée, partielle, et en perspective, un mouvement d'horlogerie, avec une platine porteuse d'un mécanisme régulateur selon l'invention, comportant un résonateur à guidage flexible avec deux lames flexibles disposées sur deux niveaux parallèles et croisées en projection, fixées à la platine par l'intermédiaire d'un élément élastique, ce résonateur comportant un élément inertiel de grande étendue, en forme de lettre oméga, et dont la partie centrale, portée par les deux lames flexibles, porte une cheville agencée pour coopérer avec une ancre symétrique, dont le pivotage par un arbre métallique sur la platine n'est pas représenté, qui coopère elle-même avec une roue d'échappement classique;
- la figure 3 représente, en vue en plan, le seul mécanisme régulateur de la figure 2, agencé sur la platine du mouvement;
- la figure 4 représente, en vue en plan, le détail du mécanisme régulateur de la figure 2 ;
- la figure 5 représente, en perspective partiellement éclatée, le mécanisme régulateur de la figure 2 ;
- la figure 6 représente, en vue en plan, un détail de la zone de coopération entre la cheville de plateau de l'élément inertiel du résonateur, et la fourchette de l'ancre, représentée dans une position de butée sur une goupille de limitation;
- la figure 7 représente, en vue en plan, l'ancre du mécanisme de la figure 2, en forme de cornes de bovin watusi ;

- la figure 8 représente, en vue en plan, le guidage flexible du mécanisme de la figure 2 ;
- la figure 9 représente, en vue en plan, une exécution particulière d'un niveau du guidage flexible du mécanisme de la figure 2 ;
- la figure 10 représente, en vue de côté, le mécanisme régulateur de la figure 2 ;
- la figure 11 représente, en perspective, un détail du mécanisme régulateur de la figure 2, concernant des butées anti-choc au niveau de sa platine;
- les figures 12 à 14 sont des graphiques comportant en abscisse le couple appliqué au mobile d'échappement, et en ordonnée, respectivement l'amplitude mesurée en degrés sur la figure 12, le retard en secondes par jour sur la figure 13, et le rendement du régulateur en % sur la figure 14 ;
- la figure 15 est un schéma-blocs qui représente une montre comportant un mouvement avec des moyens moteurs et un mécanisme régulateur selon l'invention ;
- les figures 16 à 19 représentent, en vue en plan, des étapes de la cinématique, déjà symbolisée par la figure 6, au niveau de l'ellipse de balancier, de la fourchette de l'ancre de la figure 7, et du mobile d'échappement ici constitué par une roue d'échappement traditionnelle :
- figure 16 : repos de la roue d'échappement sur la palette d'entrée, arc libre du résonateur;
- figure 17 : dégagement ;
- figure 18 : début de l'impulsion ;
- figure 19 : repos de la roue d'échappement sur la palette de sortie, arc libre du résonateur, et mise en sécurité.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0025] L'invention combine un résonateur à guidage flexible rotatif, afin d'augmenter la réserve de marche et la précision, avec un échappement à ancre optimisé pour conserver des pertes dynamiques acceptables et limiter l'effet chronométrique du dégagement.

[0026] L'invention concerne ainsi un mécanisme régulateur 300 d'horlogerie, comportant, agencés sur une platine 1, un mécanisme résonateur 100 de facteur de qualité Q, et un mécanisme d'échappement 200, lequel est soumis à un couple de moyens moteurs 400 que comporte un mouvement 500.

[0027] Ce mécanisme résonateur 100 comporte un élément inertiel 2 qui est agencé pour osciller par rapport à la platine 1. Cet élément inertiel 2 est soumis à l'action de moyens de rappel élastique 3 fixés directement ou indirectement à la platine 1. L'élément inertiel 2 est agencé pour coopérer indirectement avec un mobile d'échappement 4, notamment une roue d'échappement, que comporte le mécanisme d'échappement 200, et qui pivote autour d'un axe d'échappement DE.

[0028] Selon l'invention, le mécanisme résonateur 100 est un résonateur rotatif à pivot virtuel, autour d'un axe principal DP, à guidage flexible comportant au moins deux lames flexibles 5, et comporte une cheville de plateau 6 solidaire de l'élément inertiel 2. Le mécanisme d'échappement 200 comporte une ancre 7, laquelle pivote autour d'un axe secondaire DS et comporte une fourchette d'ancre 8 agencée pour coopérer avec la cheville de plateau 6, et est ainsi un mécanisme d'échappement libre: dans son cycle de fonctionnement, le mécanisme résonateur 100 possède au moins une phase de liberté où la cheville de plateau 6 est à distance de la fourchette d'ancre 8. L'angle de levée de résonateur β, pendant lequel la cheville de plateau 6 est en contact avec la fourchette d'ancre 8, est inférieur à 10°.

[0029] Etant donnée une géométrie d'échappement particulière, et une amplitude de fonctionnement particulière, notamment 8°, les simulations multicorps dynamiques (c'est-à-dire relatives à un ensemble de plusieurs composants dont chacun est affecté d'une masse et d'une distribution d'inertie particulière) permettent d'évaluer le rendement et le retard de ce mécanisme d'échappement en fonction du rapport d'inertie entre l'inertie de l'élément inertiel et l'inertie de l'ancre, ce que des simulations cinématiques usuelles ne permettent pas d'établir. Tel que visible sur la figure 1, on constate que, dans les conditions de simulations, il y a un seuil de bon rendement, supérieur à 35%, et de faible retard, inférieur à 8 secondes par jour, pour une inertie de l'élément inertiel, notamment d'un balancier, qui est 10000 fois plus grande que l'inertie de l'ancre.

[0030] Le modèle analytique du système a ainsi montré que, si on veut limiter les pertes dynamiques, une condition particulière lie l'inertie de l'ancre, l'inertie de l'élément inertiel, le facteur de qualité du résonateur, et les angles de levée de l'ancre et de l'élément inertiel : pour un coefficient ε de pertes dynamiques, l'inertie I_B de l'élément inertiel 2 par rapport à l'axe principal DP d'une part, et l'inertie I_A de l'ancre 7 par rapport à l'axe secondaire DS d'autre part, sont telles que le rapport I_B/I_A est supérieur à $2Q.\alpha^2/(\varepsilon.\pi.\beta^2)$, où α est l'angle de levée de l'ancre qui correspond à la course angulaire maximale de la fourchette d'ancre 8.

[0031] Plus particulièrement, si on veut limiter les pertes dynamiques à un facteur ε=10%, l'inertie I_B de l'élément inertiel 2 par rapport à l'axe principal DP d'une part, et l'inertie I_A de l'ancre 7 par rapport à l'axe secondaire DS d'autre part, sont telles que le rapport I_B/I_A est supérieur à $2Q.\alpha^2/(0.1.\pi.\beta^2)$, où α est l'angle de levée de l'ancre qui correspond à la course angulaire maximale de la fourchette d'ancre 8.

[0032] Plus particulièrement, l'angle de levée de résonateur β, qui est un angle global, pris de part et d'autre de la position de repos, est inférieur au double de l'angle d'amplitude dont s'écarte au maximum l'élément inertiel 2 par rapport à une position de repos, dans un seul sens de son mouvement.

[0033] Plus particulièrement, l'angle d'amplitude, dont s'écarte au maximum l'élément inertiel 2 par rapport à une position de repos, est compris entre 5° et 40°.

[0034] Selon l'invention, lors de chaque alternance, dans une phase de contact la cheville de plateau 6 pénètre dans la fourchette d'ancre 8 avec une course de pénétration P supérieure à 100 micromètres, et dans une phase de dégagement la cheville de plateau 6 reste à distance de la fourchette d'ancre 8 avec une distance de sécurité S supérieure à 25 micromètres.

[0035] La fourchette 8 de l'ancre 7 est ainsi élargie par rapport à ce que serait une fourchette classique d'ancre suisse, beaucoup plus étroite et autorisant moins de liberté à l'ellipse 6, qui n'arriverait pas à rentrer et sortir de la fourchette d'une ancre suisse classique avec une aussi petite amplitude angulaire. Ce concept de fourchette élargie permet de faire fonctionner un échappement à ancre quand bien même l'amplitude du résonateur est beaucoup plus faible que dans un balancier spiral classique, ce qui est particulièrement intéressant pour des résonateurs à guidage flexibles, qui ont une faible amplitude, comme dans le cas d'espèce. En effet, il est important que, pendant le cycle de fonctionnement le balancier soit entièrement libre à certains instants.

[0036] Selon l'invention, la cheville de plateau 6 et la fourchette d'ancre 8 sont avantageusement dimensionnées pour que la largeur L de la fourchette d'ancre 8 soit supérieure à $(P+S)/\sin(\alpha/2+\beta/2)$, la course de pénétration P et la distance de sécurité S étant mesurées radialement par rapport à l'axe principal DP.

[0037] La largeur utile L1 de la cheville de plateau 6, visible sur la figure 6, est légèrement inférieure à la largeur L de la fourchette d'ancre 8, et, plus particulièrement, inférieure ou égale à 98% de L. Cette cheville de plateau 6 est avantageusement en dépouille derrière sa surface de largeur utile L1, la cheville peut notamment avoir une forme prismatique de section triangulaire telle que suggérée sur la figure, ou similaire.

[0038] L'observation des figures montre une action complémentaire sur le positionnement de l'ellipse 6, située beaucoup plus loin de l'axe de rotation du balancier 2 que dans un mécanisme d'échappement classique : le rayon supérieur combiné avec un angle de pivotement inférieur permet de maintenir une course curviligne équivalente de l'ellipse 6, ce qui est nécessaire pour lui permettre d'accomplir sa fonction de distribution-comptage. L'utilisation d'un balancier de grand diamètre est donc particulièrement intéressante.

[0039] Plus particulièrement, l'excentration E2 de l'ellipse 6 par rapport à l'axe du balancier, et l'excentration E7 de la corne de fourchette 8 par rapport à l'axe de l'ancre 7, sont comprises entre 40% et 60% de l'entraxe E entre l'axe de l'ancre 7 et l'axe du balancier. Plus particulièrement, l'excentration E2 est comprise entre 55% et 60% de l'entraxe E, et l'excentration E7 est comprise entre 40% et 45% de l'entraxe E. Plus particulièrement, la zone d'interférence entre l'ellipse 6 et la fourchette 8 s'étend sur 5% à 10% de l'entraxe E.

[0040] Ainsi, l'invention définit, par construction, un nouveau tracé chevillefourchette, qui présente une caractéristique bien particulière, selon laquelle les cornes de la fourchette sont plus écartées, et la cheville est plus large, que pour un mécanisme à ancre suisse de type connu avec un angle de levée usuel de 50°.

[0041] Ainsi, en élargissant sensiblement la fourchette de l'ancre par rapport aux proportions habituelles, on peut encore dimensionner un échappement à ancre suisse avec un très petit angle de levée, par exemple de l'ordre de 10°.

[0042] La figure 6 montre que, même avec de très petits angles de pivotement, on arrive à rentrer l'ellipse 6 dans la fourchette 8 avec une bonne pénétration P, et l'en sortir avec une sécurité S suffisante.

[0043] Les figures 16 à 19 illustrent la cinématique et montrent que l'on dispose de pénétrations P et de sécurités S adéquates, avec cette conception combinée de l'ellipse 6 très lointaine de l'axe du balancier, et d'ancre 7 de forme particulière et notamment à fourchette élargie.

[0044] Et on comprend l'intérêt, pour maximiser le rendement du résonateur, de la relation particulière, exposée plus haut et qui lie l'inertie de l'élément inertiel et l'inertie de l'ancre, dans un rapport supérieur à 10000.

[0045] Il est alors particulièrement intéressant de disposer d'une ancre à la fois très petite et très légère, et d'un balancier de grandes dimensions et de forte masse.

[0046] Plus particulièrement, l'ancre 7 est en silicium, qui permet une exécution miniaturisée et très précise, avec une densité inférieure au tiers de celle de l'acier. Le fait d'avoir une ancre en silicium permet de diminuer son inertie par rapport à une ancre métallique. Une faible inertie de l'ancre par rapport au balancier est cruciale pour avoir un rendement correct à faible amplitude et haute fréquence, dans la présent cas des résonateurs à guidages flexibles.

[0047] Le balancier est, quant à lui, quand la gamme de la montre l'autorise, avantageusement réalisé dans un métal ou alliage lourd, comportant de l'or, du platine, du tungstène, ou similaire, et peut comporter des masselottes de constitution analogue. A défaut le balancier est classiquement réalisé en alliage CuBe2 cuivrebéryllium, ou similaire, et lesté de masselottes d'équilibrage et/ou de masselottes de réglage en maillechort ou autre alliage.

[0048] Plus particulièrement cette ancre 7 est sur un niveau unique de silicium, rapporté sur un arbre, métallique ou similaire, tel que céramique, ou autre, pivoté par rapport à la platine 1.

[0049] Plus particulièrement, le mobile d'échappement 4 est une roue d'échappement en silicium.

[0050] Plus particulièrement, le mobile d'échappement 4 est une roue d'échappement qui est ajourée pour minimiser son inertie par rapport à son axe de pivotement DE.

[0051] Plus particulièrement, l'ancre 7 est ajourée pour minimiser son inertie I_A par rapport à l'axe secondaire DS.

[0052] De préférence, l'ancre 7 est symétrique par rapport à l'axe secondaire DS, de façon à éviter tout balourd, et éviter les couples parasites lors de chocs linéaires, notamment en translation. Un avantage supplémentaire

est alors la grande facilité d'assemblage de ce très petit composant, que l'opérateur effectuant le montage peut manipuler de n'importe quel côté.

[0053] La figure 7 montre les deux cornes 81 et 82 agencées pour coopérer avec la cheville de plateau 6, les palettes 72 et 73 agencées pour coopérer avec des dents du mobile d'échappement 4, et des fausses cornes 80 et des fausses palettes 70 dont le seul rôle est un équilibrage parfait,

[0054] Plus particulièrement, la plus grande dimension de l'élément inertiel 2 est plus grande que la moitié de la plus grande dimension de la platine 1.

[0055] Plus particulièrement, l'axe principal DP, l'axe secondaire DS et l'axe de pivotement du mobile d'échappement 4, sont disposés selon un pointage à angle droit dont le sommet est sur l'axe secondaire DS. On comprend qu'ainsi, en référence à une ancre suisse classique en forme de té avec une baguette et deux bras, on supprime la baguette, qui devient l'un des deux bras 76, visible sur la figure 7, qui porte les cornes 81 et 82 et la palette de sortie 72 presque confondue avec la corne 82, l'autre bras 75 portant la palette d'entrée 73.

[0056] La comparaison avec l'ancre suisse est à poursuivre en ce qui concerne les moyens de prévention du renversement, usuellement constitués par un dard situé sur un plan déporté de l'ancre. Cette fonction est importante pour éviter tout coincement du balancier. De façon particulière, le balancier est dépourvu de petit plateau et donc d'encoche de plateau prévue pour coopérer avec un tel dard. Ici, du fait des faibles angles de pivotement, l'ellipse n'est jamais loin de la fourchette. La fonction antirenversement est alors avantageusement remplie par la combinaison du pourtour 60 en arc de cercle de l'ellipse 6, et par la surface correspondante 810, 820, de la corne d'ancre 81, 82 concernée : cette corne joue le rôle usuel d'un dard, et la circonférence de l'ellipse joue le rôle du petit plateau. L'avantage supplémentaire qui en résulte est que, pour ce qui concerne sa coopération avec l'ancre d'un seul niveau, le balancier peut être lui aussi, localement, à un seul niveau, ce qui simplifie sa fabrication et allège son coût.

[0057] La conception d'une ancre à un seul niveau, qui simplifie grandement la fabrication de l'ancre, est possible uniquement parce que le renversement est ainsi empêché par la faible amplitude du résonateur, combinée à l'importante largeur de l'ellipse (largeur environ égale à la fourchette élargie).

[0058] Plus particulièrement, le guidage flexible comporte deux lames flexibles 5 croisées en projection sur un plan perpendiculaire à l'axe principal DP, au niveau du pivot virtuel définissant l'axe principal DP, et situées dans deux niveaux parallèles et distincts. Plus particulièrement encore, les deux lames flexibles 5, en projection sur un plan perpendiculairement à l'axe principal DP, forment entre elles un angle compris entre 59.5°et 69.5°, et se croisent entre 10.75% et 14.75% de leur longueur, de façon à procurer au mécanisme résonateur 100 un défaut volontaire d'isochronisme opposé au défaut de retard à l'échappement du mécanisme d'échappement 200.

[0059] Le résonateur présente ainsi une courbe d'anisochronisme qui compense le retard provoqué par l'échappement. C'est-à-dire que le résonateur libre est conçu avec un défaut d'isochronisme opposé au défaut provoqué par l'échappement à ancre. On compense donc le retard à l'échappement par la conception du résonateur.

[0060] Plus particulièrement les deux lames flexibles 5 sont identiques et sont positionnées en symétrie. Plus particulièrement encore, chaque lame flexible 5 appartient à un ensemble monobloc 50, d'une seule pièce avec deux parties massives 51, 55, et avec ses premiers moyens d'alignement 52A, 52B, et de fixation 54 sur la platine 1, ou, avantageusement et tel que visible sur la figure 10, de fixation sur une lame élastique intermédiaire de suspension 9 fixée à la platine 1 et qui est agencée pour autoriser un déplacement du guidage flexible et de l'élément inertiel 2 selon la direction de l'axe principal DP, de façon à assurer une bonne protection contre les chocs de direction Z perpendiculaire au plan d'un tel ensemble monobloc 10, et donc d'éviter la rupture des lames du guidage flexible. Cette lame élastique intermédiaire de suspension 9 est avantageusement réalisée en alliage « Durimphy » ou similaire.

[0061] Dans la variante non limitative illustrée par les figures, les premiers moyens d'alignement sont un premier vé 52A et un premier plat 52B, et les premiers moyens de fixation comportent au moins un premier alésage 54. Une première lame de placage 53 assure l'appui sur les premiers moyens de fixation. De façon similaire, l'ensemble monobloc 50 comporte, pour sa fixation sur l'élément inertiel 2, des deuxièmes moyens d'alignements qui sont un deuxième vé 56A et un deuxième plat 56B, et les deuxièmes moyens de fixation comportent au moins un deuxième alésage 58. Une deuxième lame de placage 57 assure l'appui sur les deuxièmes moyens de fixation.

[0062] Le guidage flexible 3 à lames croisées 5 est avantageusement constitué de deux ensembles monobloc 50 pièces en silicium identiques, assemblés en symétrie pour former le croisement des lames, et alignés précisément l'un par rapport à l'autre grâce aux moyens d'alignement intégrés et à des moyens auxiliaires tels que des goupilles et des vis, non représentés sur les figures.

[0063] Ainsi, plus particulièrement, au moins le mécanisme résonateur 100 est fixé sur une lame élastique intermédiaire de suspension 9 fixée à la platine 1 et agencée pour autoriser un déplacement mécanisme résonateur 100 selon la direction de l'axe principal DP, et la platine 1 comporte au moins une butée antichoc 11, 12, au moins selon la direction de l'axe principal DP, et de préférence au moins deux telles butées antichoc 11,12, qui sont agencées pour coopérer avec au moins un élément rigide de l'élément inertiel 2, par exemple un flasque 21 ou 22 rapporté lors de l'assemblage de l'élément iner-

tiel avec le guidage flexible 3 comportant les lames 5.

[0064] La lame élastique de suspension 9, ou un dispositif similaire, permet des déplacements de tout le résonateur 100 sensiblement selon la direction définie par l'axe de rotation virtuel DP du guidage. Le but de ce dispositif est d'éviter que les lames 5 ne se cassent en cas de choc transversal selon la direction DP.

[0065] La figure 11 illustre la présence de butées antichoc limitant la course de l'élément inertiel 2 selon les trois directions en cas de choc, mais située à une distance suffisante pour que l'élément inertiel ne touche pas les butées sous l'effet de la gravité. Par exemple, le flasque 21 ou 22 comporte un alésage 211 et une face 212, aptes à coopérer respectivement en appui de butée antichoc avec un tourillon 121 et une surface complémentaire 122 au niveau de la butée 21 ou 22.

[0066] Plus particulièrement, l'élément inertiel 2 comporte des masselottes 20 de réglage de la marche et du balourd.

[0067] Plus particulièrement, la cheville de plateau 6 est monobloc avec une lame flexible 5, ou plus particulièrement, un tel ensemble monobloc 50 tel qu'illustré sur les figures.

[0068] Plus particulièrement, l'ancre 7 comporte des surfaces d'appui agencées pour coopérer en appui avec des dents que comporte le mobile d'échappement 4 et pour limiter la course angulaire de l'ancre 7. Ces appuis permettent de limiter la course angulaire de l'ancre, comme le feraient des étoqueaux. La course angulaire de l'ancre 78 peut d'ailleurs être classiquement limitée par des goupilles de limitation 700.

[0069] Plus particulièrement le guidage flexible 3 est en silicium oxydé pour compenser les effets de la température sur la marche du mécanisme régulateur 300.

[0070] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 500 comportant des moyens moteurs 400, et un tel mécanisme régulateur 300, dont le mécanisme d'échappement 200 est soumis au couple de ces moyens moteurs 400.

[0071] Les graphiques des figures 12 à 14 présentent une série de résultats de simulations dans lesquelles Q=2000, I_B=26550 mg.mm^2, fréquence de 20Hz, mobile d'échappement comportant 20 dents, plus particulièrement l'angle de levée α de l'ancre est de 14°, et l'angle de levée de résonateur β est de 10°.

[0072] L'invention concerne encore une montre 1000, plus particulièrement une montre mécanique, comportant un tel mouvement 500, et/ou un tel mécanisme régulateur 300.

[0073] En somme, la présente invention permet d'augmenter la réserve de marche et/ou la précision des montres mécaniques actuelles. Pour une taille de mouvement donné, on peut quadrupler l'autonomie de la montre et à doubler le pouvoir réglant de la montre. Cela revient à dire que l'invention permet un gain d'un facteur 8 sur les performances du mouvement.

Revendications

1. Mécanisme régulateur (300) d'horlogerie, comportant, agencés sur une platine (1), un mécanisme résonateur (100) d'un facteur de qualité Q, et un mécanisme d'échappement (200) lequel est agencé pour être soumis à un couple de moyens moteurs (400) que comporte un mouvement (500), ledit mécanisme résonateur (100) comportant un élément inertiel (2) agencé pour osciller par rapport à ladite platine (1), ledit élément inertiel (2) étant soumis à l'action de moyens de rappel élastique (3) fixés directement ou indirectement à ladite platine (1), et ledit élément inertiel (2) étant agencé pour coopérer indirectement avec un mobile d'échappement (4) que comporte ledit mécanisme d'échappement (200), ledit mécanisme résonateur (100) étant un résonateur rotatif à pivot virtuel, autour d'un axe principal (DP), à guidage flexible comportant au moins deux lames flexibles (5), et comportant une cheville de plateau (6) solidaire dudit élément inertiel (2), ledit mécanisme d'échappement (200) comportant une ancre (7) pivotant autour d'un axe secondaire (DS) et comportant une fourchette d'ancre (8) agencée pour coopérer avec ladite cheville de plateau (6), et étant un mécanisme d'échappement libre dans le cycle de fonctionnement duquel ledit mécanisme résonateur (100) possède au moins une phase de liberté où ladite cheville de plateau (6) est à distance de ladite fourchette d'ancre (8) ledit mécanisme régulateur étant configuré pour que, lors de chaque alternance, dans une phase de contact ladite cheville de plateau (6) pénètre dans ladite fourchette d'ancre (8) avec une course de pénétration (P) supérieure à 100 micromètres, et dans une phase de dégagement ladite cheville de plateau (6) reste à distance de ladite fourchette d'ancre (8) avec une distance de sécurité (S) supérieure à 25 micromètres, et pour que ladite cheville de plateau (6) et ladite fourchette d'ancre (8) soient dimensionnées pour que la largeur (L) de ladite fourchette d'ancre (8) soit supérieure à $(P+S)/\sin(\alpha/2+\beta/2)$, où α est l'angle global de levée de ladite ancre (7), qui correspond à la course angulaire maximale de ladite fourchette d'ancre (8), et où β est l'angle de levée dudit résonateur (100), qui est un angle global, pris de part et d'autre de la position de repos, ladite course de pénétration (P) et ladite distance de sécurité (S) étant mesurées radialement par rapport audit axe principal (DP), ledit angle de levée de résonateur β, pendant lequel ladite cheville de plateau (6) est en contact avec ladite fourchette d'ancre (8), étant inférieur à 10°.

2. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'inertie I_B dudit élément inertiel (2) par rapport audit axe principal (DP) d'une part, et l'inertie I_A de ladite ancre (7) par rapport audit axe secondaire (DS) d'autre part, sont telles que le

rapport I_B/I_A est supérieur à $2.Q.\alpha^2/(\pi.\beta^2/10)$ où α est l'angle global de levée de l'ancre qui correspond à la course angulaire maximale de ladite fourchette d'ancre (8).

3. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ledit angle global de levée de résonateur (β) est inférieur au double de l'angle d'amplitude dont s'écarte au maximum, dans un seul sens de son mouvement ledit élément inertiel (2) par rapport à une position de repos.

4. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'angle d'amplitude, dont s'écarte au maximum ledit élément inertiel (2) par rapport à une position de repos, est compris entre 5° et 40°.

5. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** ladite ancre (7) est en un niveau unique de silicium, rapporté sur un arbre pivoté par rapport à ladite platine (1).

6. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** ledit mobile d'échappement (4) est une roue d'échappement en silicium.

7. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** ledit mobile d'échappement (4) est une roue d'échappement qui est ajourée pour minimiser son inertie par rapport à son axe de pivotement.

8. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** ladite ancre (7) est ajourée pour minimiser sa dite inertie (I_A) par rapport audit axe secondaire (DS).

9. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** ladite ancre (7) est symétrique par rapport audit axe secondaire (DS).

10. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** la plus grande dimension dudit élément inertiel (2) est plus grande que la moitié de la plus grande dimension de ladite platine (1).

11. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** ledit axe principal (DP), ledit axe secondaire (DS) et l'axe de pivotement (DE) dudit mobile d'échappement (4), sont disposés selon un pointage à angle droit dont le sommet est sur ledit axe secondaire (DS).

12. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** ledit guidage flexible comporte deux lames flexibles (5) croisées en projection sur un plan perpendiculaire audit axe principal (DP), au niveau dudit pivot virtuel définissant ledit axe principal (DP), et situées dans deux niveaux parallèles et distincts.

13. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** lesdites deux lames flexibles (5), en projection sur un plan perpendiculairement audit axe principal (DP), forment entre elles un angle compris entre 59.5° et 69.5°, et se croisent entre 10.75% et 14.75% de leur longueur, de façon à procurer audit mécanisme résonateur (100) un défaut volontaire d'isochronisme opposé au défaut de retard à l'échappement dudit mécanisme d'échappement (200).

14. Mécanisme régulateur (300) selon la revendication 12 ou 13, **caractérisé en ce que** lesdites deux lames flexibles (5) sont identiques et sont positionnées en symétrie.

15. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 12 à 14, **caractérisé en ce que** chaque dite lame flexible (5) appartient à un ensemble monobloc (50) d'une seule pièce avec ses moyens d'alignement et de fixation sur ladite platine (1) ou sur une lame élastique intermédiaire de suspension (9) fixée à ladite platine (1) et agencée pour autoriser un déplacement dudit guidage flexible et dudit élément inertiel (2) selon la direction dudit axe principal (DP).

16. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 15, **caractérisé en ce que** au moins ledit mécanisme résonateur (100) est fixé sur une lame élastique intermédiaire de suspension (9) fixée à ladite platine (1) et agencée pour autoriser un déplacement mécanisme résonateur (100) selon la direction dudit axe principal (DP), et **en ce que** ladite platine (1) comporte au moins une butée antichoc (11, 12) au moins selon la direction dudit axe principal (DP), agencée pour coopérer avec au moins un élément rigide dudit élément inertiel (2).

17. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 16, **caractérisé en ce que** ledit élément inertiel (2) comporte des masselottes de réglage de la marche et du balourd.

18. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 17, **caractérisé en ce que** ladite cheville de plateau (6) est monobloc avec une dite lame flexible (5).

19. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 18, **caractérisé en ce que** ladite ancre

(7) comporte des surfaces d'appui agencées pour coopérer en appui avec des dents que comporte ledit mobile d'échappement (4) et pour limiter la course angulaire de ladite ancre (7).

20. Mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 19, **caractérisé en ce que** ledit guidage flexible est en silicium oxydé pour compenser les effets de la température sur la marche dudit mécanisme régulateur (300).

21. Mouvement d'horlogerie (500) comportant des moyens moteurs (400) et un mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 20, dont ledit mécanisme d'échappement (200) est soumis au couple desdits moyens moteurs (400).

22. Montre (1000) comportant un mouvement (500) selon la revendication 21, et/ou un mécanisme régulateur (300) selon l'une des revendications 1 à 20.

Patentansprüche

1. Regulatormechanismus (300) für die Uhrmacherei, der, angeordnet auf einer Platine (1), einen Resonatormechanismus (100) mit einem Qualitätsfaktor Q und einen Hemmungsmechanismus (200) umfasst, der dazu angeordnet ist, einem Drehmoment von Antriebsmitteln (400) ausgesetzt zu sein, die in einem Uhrwerk (500) enthalten sind, wobei der Resonatormechanismus (100) ein Trägheitselement (2) umfasst, das dazu angeordnet ist, in Bezug auf die Platine (1) zu schwingen, wobei das Trägheitselement (2) der Wirkung von elastischen Rückstellmitteln (3) ausgesetzt ist, die direkt oder indirekt an der Platine (1) befestigt sind, und das Trägheitselement (2) dazu angeordnet ist, indirekt mit einem Hemmungsdrehteil (4) zusammenzuwirken, der in dem Hemmungsmechanismus (200) enthalten ist, wobei der Resonatormechanismus (100) ein um eine Hauptachse (DP) drehbarer Resonator mit einem virtuellen Drehpunkt und mit einer flexiblen Führung ist, die mindestens zwei flexible Klingen (5) und einen Scheibenhebelstein (6) umfasst, der fest mit dem Trägheitselement (2) verbunden ist, wobei der Hemmungsmechanismus (200) einen Anker (7) umfasst, der um eine Sekundärachse (DS) schwenkt und eine Ankergabel (8) umfasst, die dazu angeordnet ist, mit dem Scheibenhebelstein (6) zusammenzuwirken, und ein freier Hemmungsmechanismus im Betriebszyklus ist, in dem der Resonatormechanismus (100) mindestens eine Freiheitsphase aufweist, in der sich der Scheibenhebelstein (6) in einem Abstand von der Ankergabel (8) befindet, wobei der Regulatormechanismus so konfiguriert ist, dass bei jedem Wechsel in einer Kontaktphase der Scheibenhebelstein (6) mit einem Eindringweg (P) von mehr als 100 Mikrometern in die Ankergabel (8) eindringt, und in einer Freigabephase der Scheibenhebelstein (6) mit einem Sicherheitsabstand (S) von mehr als 25 Mikrometern von der Ankergabel (8) auf Abstand bleibt, und dass der Scheibenhebelstein (6) und die Ankergabel (8) so bemessen sind, dass die Breite (L) der Ankergabel (8) größer als $(P+S)/\sin(\alpha/2+\beta/2)$ ist, wobei α der Gesamthubwinkel des Ankers (7) ist, der dem maximalen Winkelweg der Ankergabel (8) entspricht, und wobei β der Hubwinkel des Resonators (100) ist, der ein Gesamtwinkel ist, der auf beiden Seiten der Ruheposition eingenommen wird, wobei der Eindringweg (P) und der Sicherheitsabstand (S) in Bezug auf die Hauptachse (DP) radial gemessen werden, wobei der Hubwinkel des Resonators β, während der Scheibenhebelstein (6) in Kontakt mit der Ankergabel (8) ist, kleiner als 10° ist.

2. Regulatormechanismus (300) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Trägheit I_B des Trägheitselements (2) in Bezug auf die Hauptachse (DP) einerseits und die Trägheit I_A des Ankers (7) in Bezug auf die Sekundärachse (DS) andererseits derart sind, dass das Verhältnis von I_B/I_A größer als $2.Q.\alpha^2/(\pi.\beta^2/10)$ ist, wobei α der Gesamthubwinkel des Ankers ist, der dem maximalen Winkelweg der Ankergabel (8) entspricht.

3. Regulatormechanismus (300) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Gesamthubwinkel des Resonators (β) weniger als das Doppelte des Amplitudenwinkels beträgt, um den das Trägheitselement (2) in nur einer einzigen Bewegungsrichtung am weitesten in Bezug auf eine Ruheposition abweicht.

4. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Amplitudenwinkel, um den das Trägheitselement (2) am weitesten in Bezug auf eine Ruheposition abweicht, zwischen 5° und 40° liegt.

5. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (7) aus einer einzigen Siliziumschicht besteht, die auf einer Welle angebracht ist, die in Bezug auf die Platine (1) schwenkbar ist.

6. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hemmungsdrehteil (4) ein Hemmungsrad aus Silizium ist.

7. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hemmungsdrehteil (4) ein Hemmungsrad ist, das perforiert ist, um seine Trägheit in Bezug auf seine Schwenkachse zu minimieren.

8. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (7) perforiert ist, um seine Trägheit (I_A) in Bezug auf die Sekundärachse (DS) zu minimieren.

9. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (7) in Bezug auf die Sekundärachse (DS) symmetrisch ist.

10. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die größte Abmessung des Trägheitselements (2) größer ist als die Hälfte der größten Abmessung der Platine (1).

11. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hauptachse (DP), die Sekundärachse (DS) und die Schwenkachse (DE) des Hemmungsdrehteils (4) in einer rechtwinkligen Ausrichtung angeordnet sind, deren Scheitelpunkt auf der Sekundärachse (DS) liegt.

12. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die flexible Führung zwei flexible Klingen (5) umfasst, die sich in der Projektion auf eine Ebene senkrecht zur Hauptachse (DP) an dem virtuellen Drehpunkt, der die Hauptachse (DP) definiert, kreuzen und sich in zwei parallelen und unterschiedlichen Ebenen befinden.

13. Regulatormechanismus nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden flexiblen Klingen (5) in der Projektion auf eine Ebene senkrecht zur Hauptachse (DP) einen Winkel zwischen 59,5° und 69,5° bilden und sich zwischen 10,75 % und 14,75 % ihrer Länge kreuzen, um einen absichtlichen Isochronismusfehler, der dem Fehler der verzögerten Hemmung des Hemmungsmechanismus (200) entgegengesetzt ist, für den Resonatormechanismus (100) sicherzustellen.

14. Regulatormechanismus (300) nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden flexiblen Klingen (5) identisch und symmetrisch positioniert sind.

15. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** jede flexible Klinge (5) zu einer einteiligen Baugruppe (50) aus einem Bauteil mit seinen Mitteln zur Ausrichtung und Befestigung an der Platine (1) oder an einer dazwischen liegenden elastischen Aufhängungsklinge (9) gehört, die an der Platine (1) befestigt und dazu angeordnet ist, eine Verschiebung der flexiblen Führung und des Trägheitselements (2) in Richtung der Hauptachse (DP) zu ermöglichen.

16. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens der Resonatormechanismus (100) an einer dazwischen liegenden elastischen Aufhängungsklinge (9) befestigt ist, die an der Platine (1) befestigt und dazu angeordnet ist, eine Verschiebung des Resonatormechanismus (100) in Richtung der Hauptachse (DP) zu ermöglichen, und dass die Platine (1) mindestens in Richtung der Hauptachse (DP) mindestens einen stoßsicheren Anschlag (11, 12) umfasst, der dazu angeordnet ist, mit mindestens einem steifen Element des Trägheitselements (2) zusammenzuwirken.

17. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Trägheitselement (2) Gewichtchen zum Einstellen des Gangs und der Unwucht umfasst.

18. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Scheibenhebelstein (6) einstückig mit der flexiblen Klinge (5) ist.

19. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anker (7) Auflageflächen umfasst, die dazu angeordnet sind, mit den Zähnen, die der Hemmungsdrehteil (4) enthält, in Anlage zusammenwirken und den Winkelweg des Ankers (7) zu begrenzen.

20. Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 19, **dadurch gekennzeichnet, dass** die flexible Biegung aus oxidiertem Silizium besteht, um die Auswirkungen der Temperatur auf den Gang des Regulatormechanismus (300) auszugleichen.

21. Uhrwerk (500), das Antriebsmittel (400) und einen Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 20 umfasst, dessen Hemmungsmechanismus (200) dem Drehmoment der Antriebsmittel (400) ausgesetzt ist.

22. Uhr (1000), die ein Uhrwerk (500) nach Anspruch 21 und/oder einen Regulatormechanismus (300) nach einem der Ansprüche 1 bis 20 umfasst.

Claims

1. Timepiece regulating mechanism (300), including, arranged on a plate (1), a resonator mechanism (100) with a quality factor Q, and an escapement mechanism (200) which is arranged to be subjected to a torque of drive means (400) included in a movement (500), said resonator mechanism (100) includ-

ing an inertia element (2) arranged to oscillate with respect to said plate (1), said inertia element (2) being subjected to the action of elastic return means (3) directly or indirectly attached to said plate (1), and said inertia element (2) being arranged to cooperate indirectly with an escape wheel set (4) included in said escapement mechanism (200), said resonator mechanism (100) being a resonator with a virtual pivot rotating about a main axis (DP), with a flexure bearing including at least two flexible strips (5), and including an impulse pin (6) integral with said inertia element (2), said escapement mechanism (200) including a lever (7) pivoting about a secondary axis (DS) and including a lever fork (8) arranged to cooperate with said impulse pin (6), and being a detached escapement mechanism, wherein, during the operating cycle, said resonator mechanism (100) has at least a freedom phase in which said impulse pin (6) is at a distance from said lever fork (8), said regulating mechanism being configured so that, during each vibration, in a contact phase, said impulse pin (6) penetrates said lever fork (8) with a depth of travel (P) greater than 100 micrometres, and in an unlocking phase, said impulse pin (6) remains at a distance from said lever fork (8) with a safety distance (S) greater than 25 micrometres, and so that said impulse pin (6) and said lever fork (8) are dimensioned such that the width (L) of said lever fork (8) is greater than $(P+S)/\sin(\alpha/2+\beta/2)$, where α is the overall lift angle of said lever (7), which corresponds to the maximum angular stroke of said anchor fork (8), and where β is the lift angle of said resonator (100), which is an overall angle, taken on either side of the rest position, said depth of travel (P) and said safety distance (S) being measured radially with respect to said main axis (DP), said lift angle β of the resonator, during which said impulse pin (6) is in contact with said lever fork (8), being less than 10°.

2. Regulating mechanism (300) according to claim 1, **characterised in that** the inertia I_B of said inertia element (2) with respect to said main axis (DP) on the one hand, and the inertia I_A of said lever (7) with respect to said secondary axis (DS) on the other hand, are such that the ratio I_B/I_A is greater than $2Q.\alpha^2/(0.1.\pi.\beta^2)$, where α is the overall lift angle of the lever which corresponds to the maximum angular travel of said lever fork (8).

3. Regulating mechanism (300) according to claim 1 or 2, **characterised in that** said overall lift angle (β) of the resonator is less than twice the angle of amplitude by which said inertia element (2) deviates furthest, in only one direction of motion, from a rest position.

4. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 3, **characterised in that** the angle of amplitude, by which said inertia element (2) deviates furthest from a rest position, is comprised between 5° and 40°.

5. Regulating mechanism (300) according to any of claims 1 to 4, **characterised in that** said lever (7) is in a single layer of silicon, placed on an arbor pivoted with respect to said plate (1).

6. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 5, **characterised in that** said escape wheel set (4) is a silicon escape wheel.

7. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 6, **characterised in that** said escape wheel set (4) is an escape wheel which is perforated to minimise its inertia with respect to its axis of pivoting.

8. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 7, **characterised in that** said lever (7) is perforated to minimise its said inertia (I_A) with respect to said secondary axis (DS).

9. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 8, **characterised in that** said lever (7) is symmetrical with respect to said secondary axis (DS).

10. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 9, **characterised in that** the largest dimension of said inertia element (2) is greater than half the largest dimension of said plate (1).

11. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 10, **characterised in that** said main axis (DP), said secondary axis (DS) and the axis of pivoting (DE) of said escape wheel set (4), are arranged to be centred at a right angle whose apex is on said secondary axis (DS).

12. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 11, **characterised in that** said flexure bearing includes two flexible strips (5) which are crossed in projection onto a plane perpendicular to said main axis (DP), at said virtual pivot defining said main axis (DP), and located in two parallel and distinct levels.

13. Regulating mechanism (300) according to claim 12, **characterised in that** said two flexible strips (5), in projection onto a plane perpendicular to said main axis (DP), form therebetween an angle comprised between 59.5° and 69.5°, and intersect at between 10.75% and 14.75% of their length, such that said resonator mechanism (100) has a deliberate isochronism error which is the additive inverse of the loss error at the escapement of said escapement

mechanism (200).

14. Regulating mechanism (300) according to claim 12 or 13, **characterised in that** said two flexible strips (5) are identical and are positioned in symmetry.

15. Regulating mechanism (300) according to one of claims 12 to 14, **characterised in that** each said flexible strip (5) forms part of a one-piece assembly (50) in one piece with means thereof for alignment and attachment to said plate (1) or to an intermediate elastic suspension strip (9) attached to said plate (1) and arranged to allow a displacement of said flexure bearing and of said inertia element (2) in the direction of said main axis (DP).

16. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 15, **characterised in that** at least said resonator mechanism (100) is attached to an intermediate, elastic suspension strip (9) attached to said plate (1) and arranged to allow a displacement of said resonator mechanism (100) in the direction of said main axis (DP), and **in that** said plate (1) includes at least one shock absorber stop (11, 12) at least in the direction of said main axis (DP), arranged to cooperate with at least one stiff element of said inertia element (2).

17. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 16, **characterised in that** said inertia element (2) includes inertia blocks for adjusting rate and unbalance.

18. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 17, **characterised in that** said impulse pin (6) is in one-piece with a said flexible strip (5).

19. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 18, **characterised in that** said lever (7) includes bearing surfaces arranged to cooperate in abutment with teeth comprised in said escape wheel set (4) and to limit the angular travel of said lever (7).

20. Regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 19, **characterised in that** said flexure bearing is made of oxidised silicon to compensate for the effects of temperature on the rate of said regulating mechanism (300).

21. Timepiece movement (500) including drive means (400) and a regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 20, wherein said escapement mechanism (200) is subjected to the torque of said drive means (400).

22. Watch (1000) including a movement (500) according to claim 21 and/or a regulating mechanism (300) according to one of claims 1 to 20.

Fig. 1

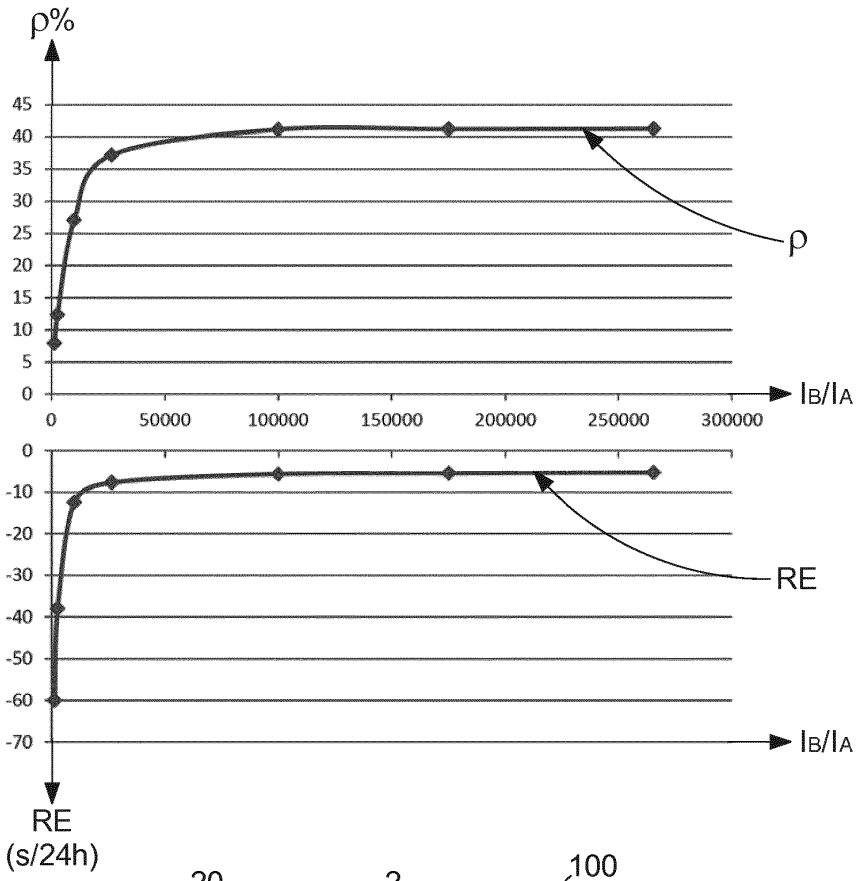

ρ%
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
50000
100000
150000
200000
250000
300000
ρ
IB/IA
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
RE
IB/IA
RE
(s/24h)

Fig. 2

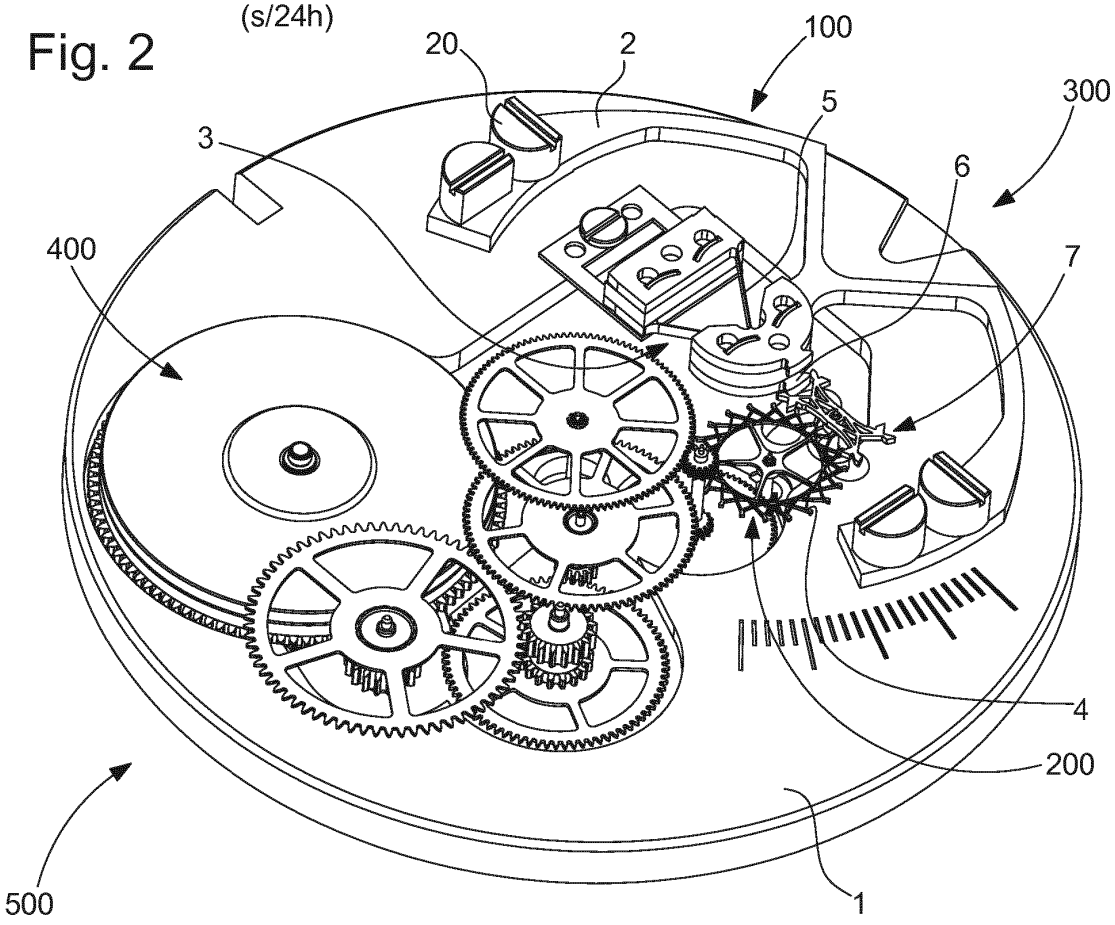

20
2
100
300
5
3
6
400
7
4
200
500
1

Fig. 3

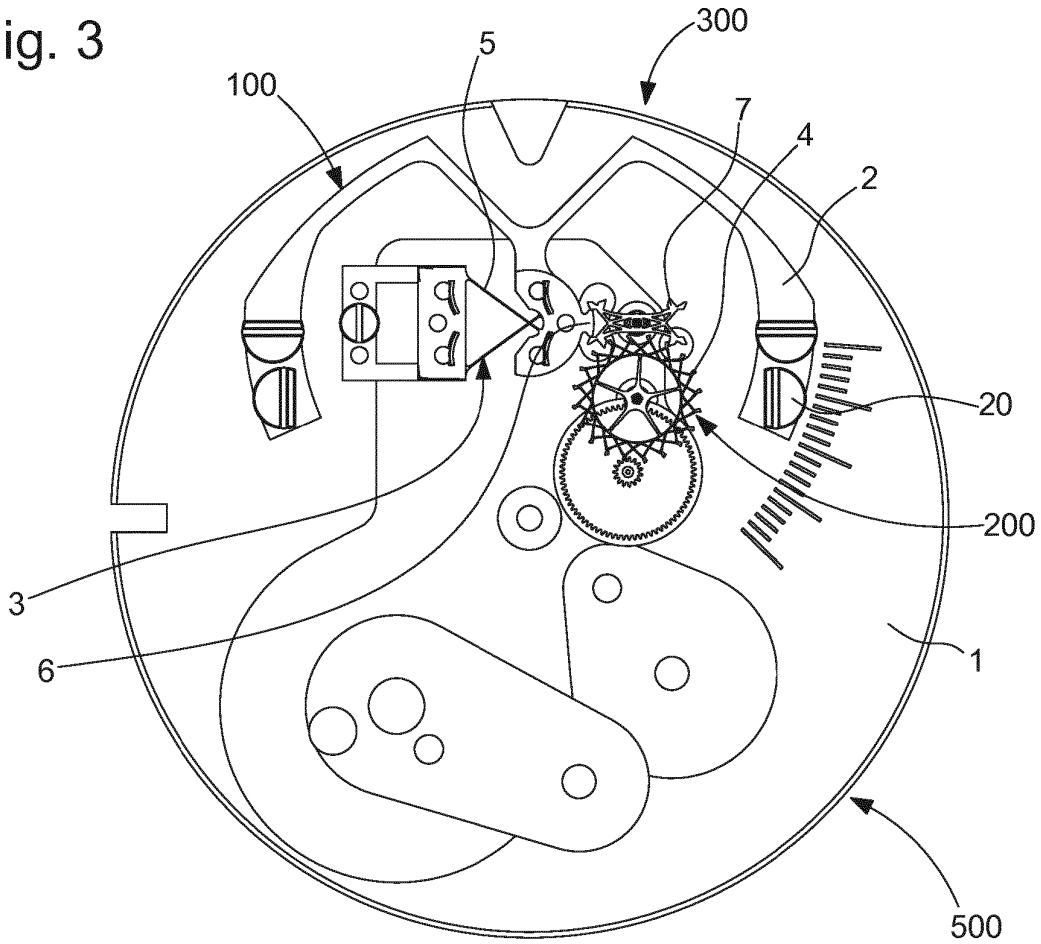


Fig. 4

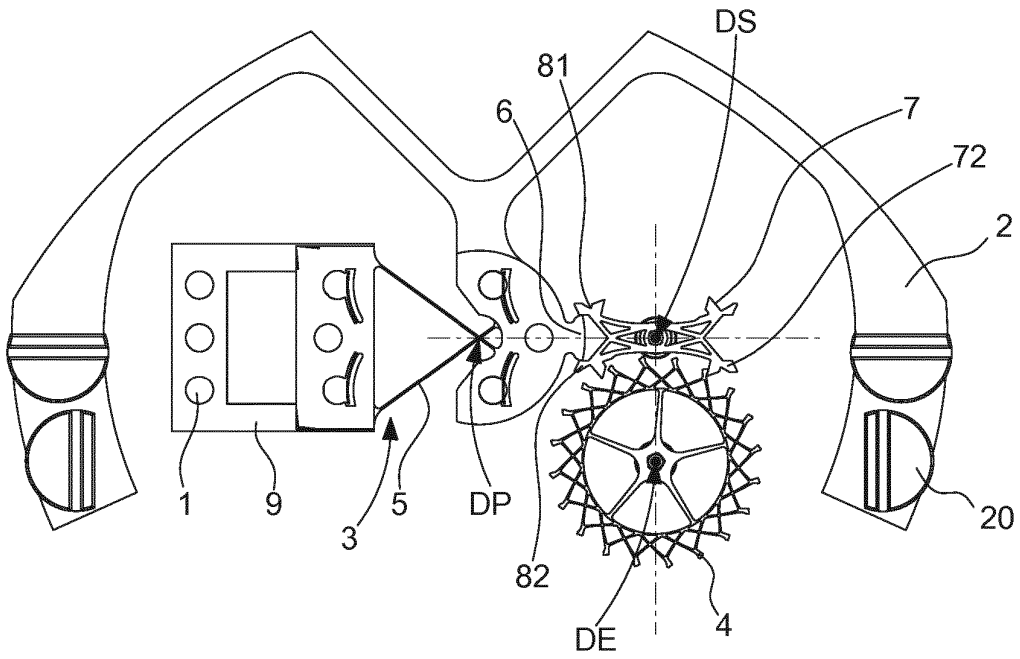


Fig. 5

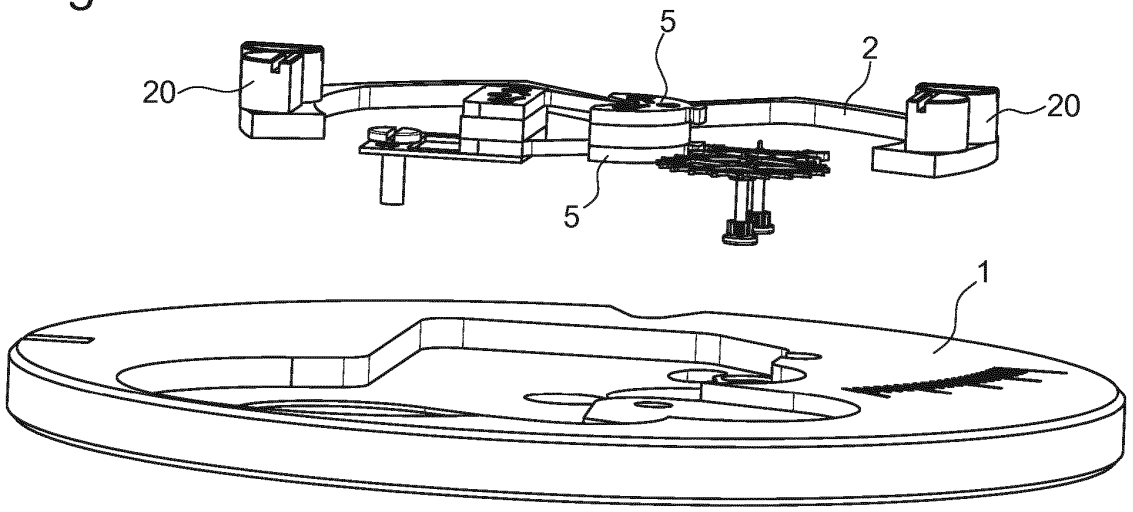


Fig. 6

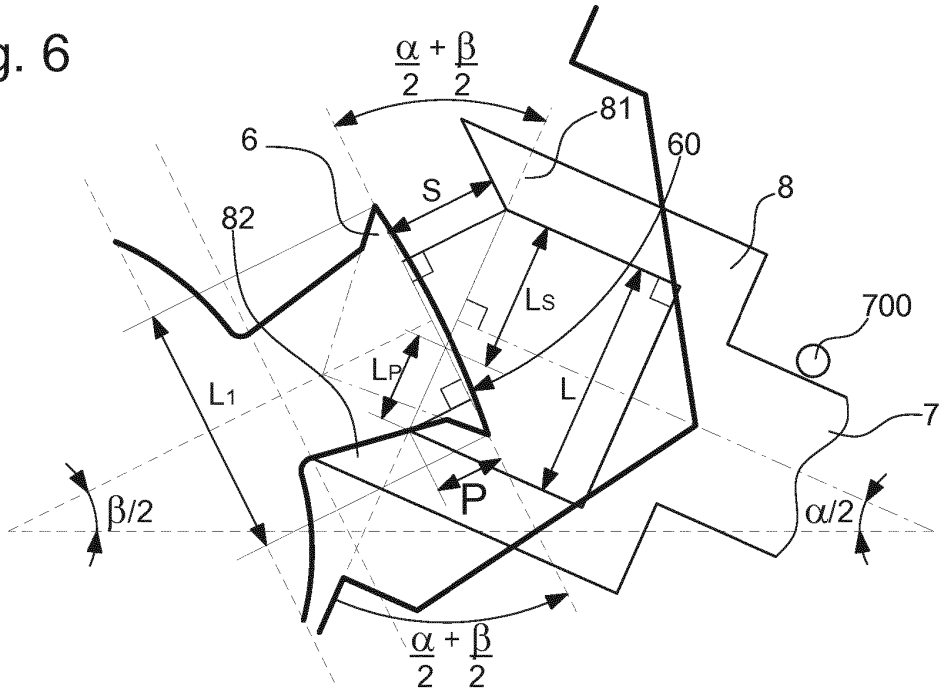


Fig. 7

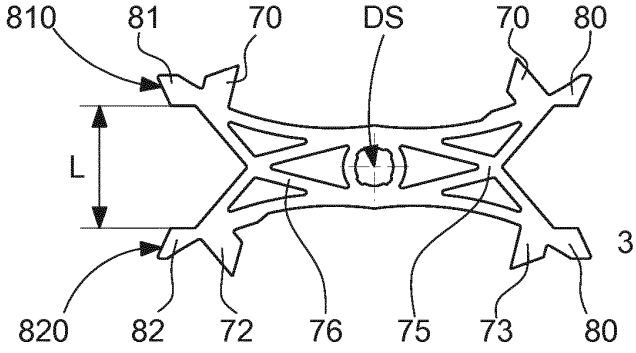


Fig. 8

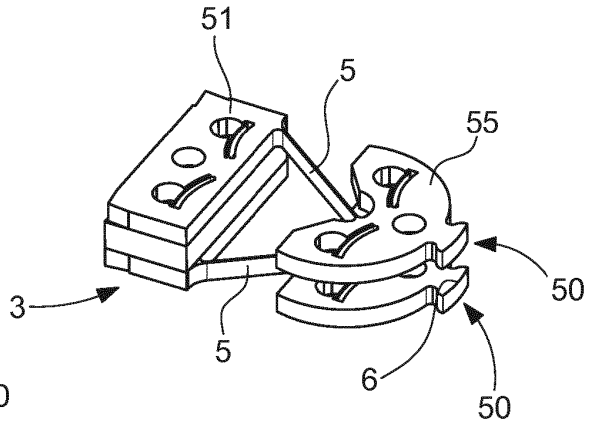


Fig. 9

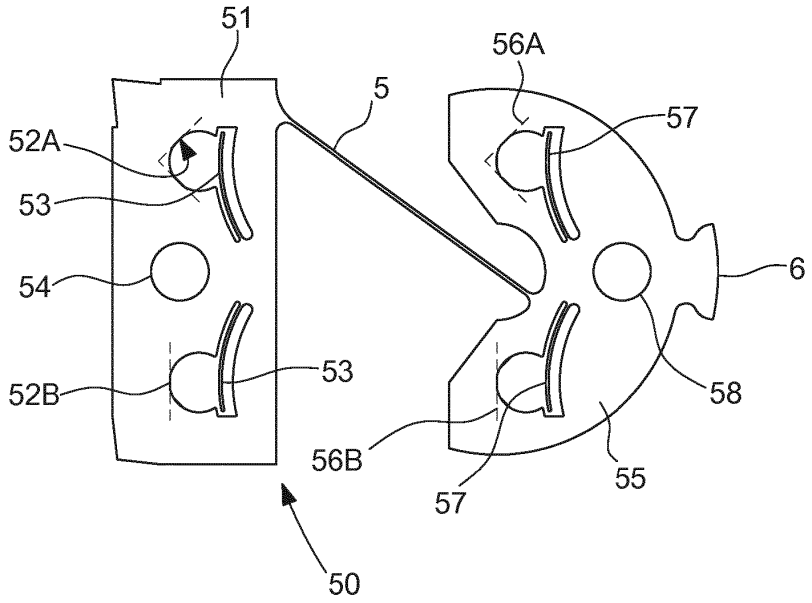


Fig. 10

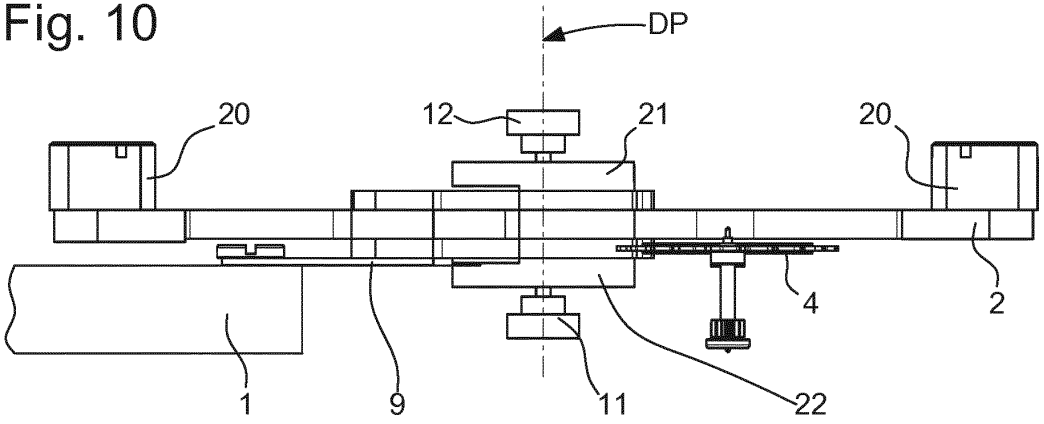


Fig. 11

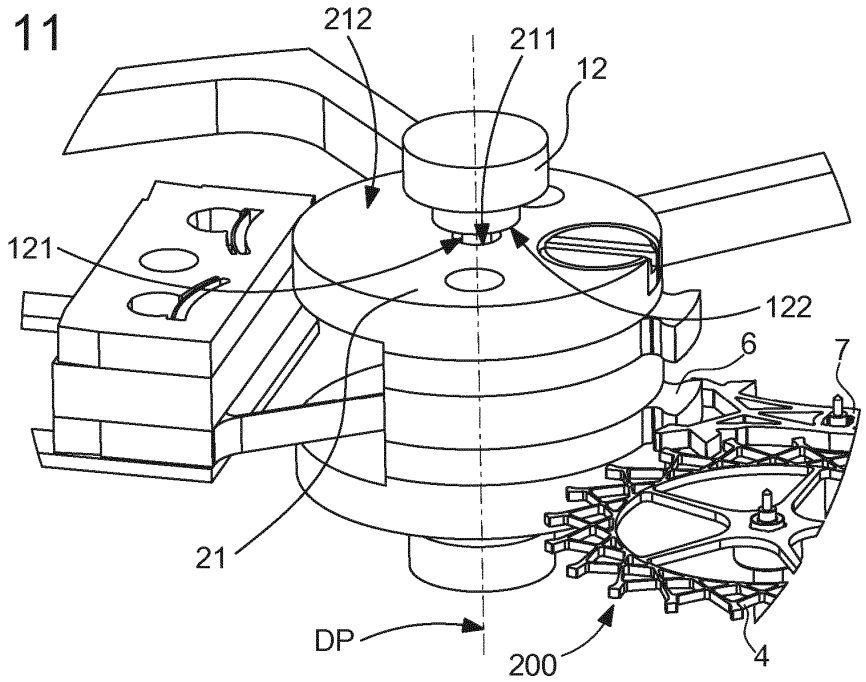


Fig. 12

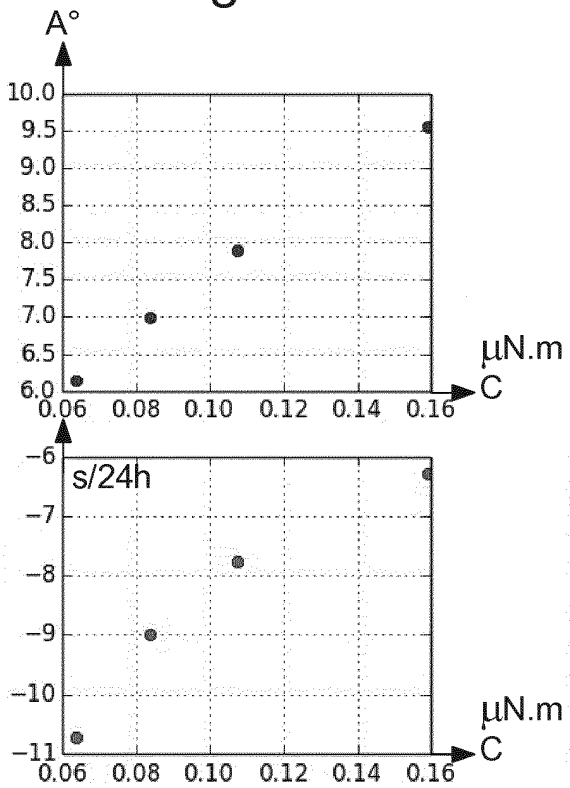


Fig. 14

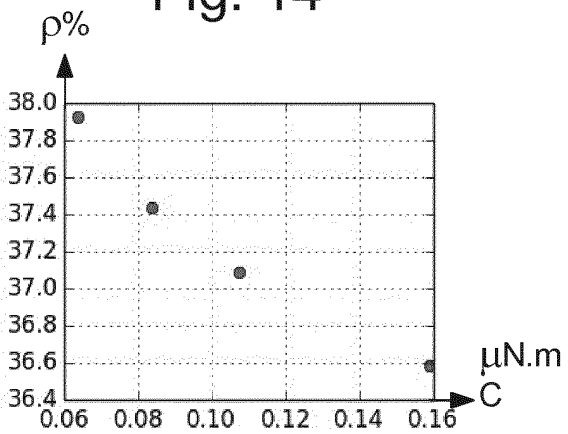


Fig. 13

Fig. 15

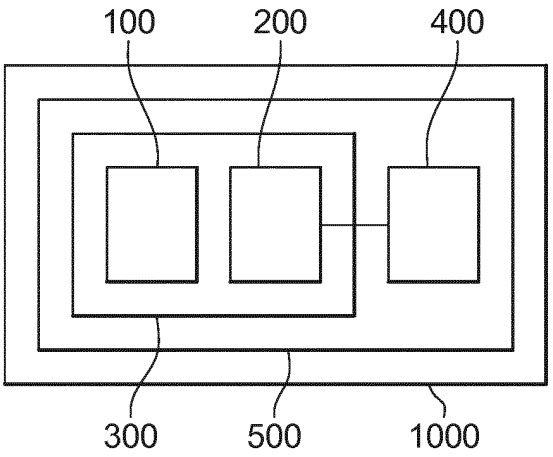
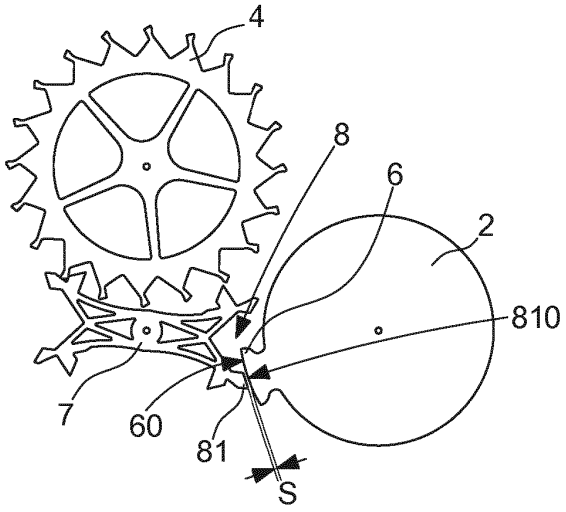


Fig. 16



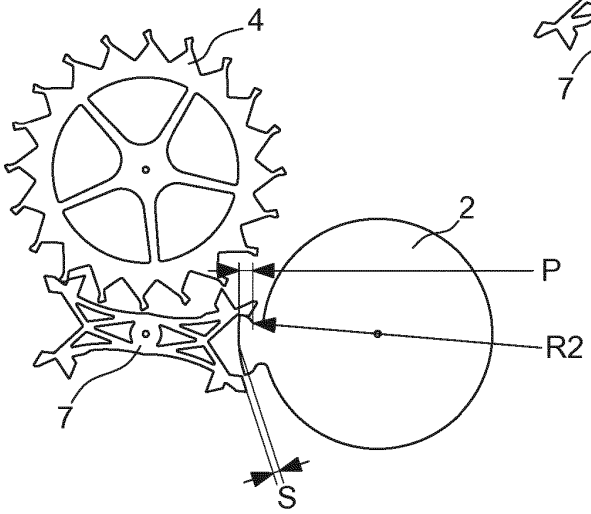
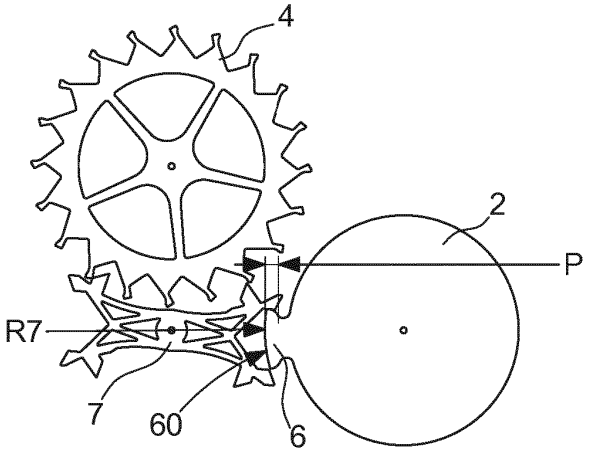


Fig. 17

Fig. 18



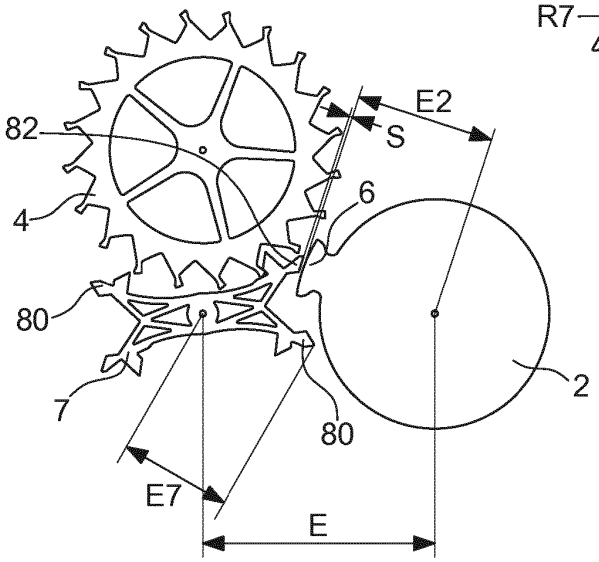


Fig. 19

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 3035126 A **[0013]**
- EP 2894520 A2 **[0013]**
- EP 3032352 A1 **[0013]**
- EP 2990885 A1 **[0013]**